第Ⅰ部門　　表面さび層を有する耐候性鋼材の機械的性質に関する検討

京都大学工学部 学生員　○吉村 友輔　京都大学大学院工学研究科 正会員　松村 政秀
京都大学大学院工学研究科 正会員　杉浦 邦征　京都大学大学院工学研究科 学生員　林 厳

1. はじめに

普通鋼に少量の合金元素を添加された耐候性鋼材は，鋼材表面に形成される緻密なさび層が大気中の腐食性物質から鋼材を保護することで鋼材内部への腐食を抑える機能性鋼材である．耐候性機能の発現に不可欠な緻密さび層の形成の有無を確認するために定量的な評価手法が必要となる．一方，緻密さび層の形成が鋼材の機械的性質に与える影響に関する知見は蓄積されていない．

そこで本研究では，さび層を有する耐候性鋼材の機械的性質を評価することを目的に，文献調査および簡易モデルを用いた解析を実施し，機械的性質とさび層の保護性を関連付けられる定量的な手法の提案を目指す．

2. さび層が疲労強度に与える影響

西村らは，さび層の有無が耐候性鋼材の疲労強度へ及ぼす影響を明らかにしている [1]．**図-1** は，さび層の有無を問わず，さび層を除去した鋼材の平均板厚を用いて応力振幅を算出した SN 線図であり，さび層を有する場合に，繰り返し回数 200 万回における応力振幅が約 1.18 倍向上したことを示している．すなわち，さび層の形成が降伏強度や引張強度など耐候性鋼の機械的性質に影響を及ぼしていると推察される．

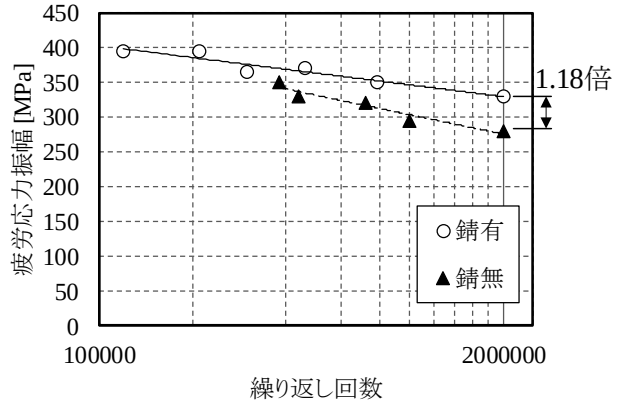

図-1　さび層有無による疲労強度変化 [1]

3. モデル解析

図-2 に示す単位板幅を有する簡易的な複合則モデルを用いて，さび層を有する耐候性鋼材の引張特性を計算した．鋼材（SMA490）の両面にさび層が形成されると仮定し，さび層および鋼材の板厚を t，d，弾性係数をE_r, E_w, とすると，各層に加わる荷重P_1,P_2, およびさび層を含む耐候性鋼材全体の弾性係数 E は式(1)～(3)により算出される．文献 1)に示される耐候性鋼材の機械的性質を参考にして，本計算における仮定を以下に示す．

① さび層と鋼材は，一体となり変形する．
② 耐候性鋼材の弾性係数E_wは205GPaとする．
③ さび厚 d は 0.1mm とする．
④ 鋼材の板厚 t は 8 mm とし，さび層の形成による板厚減少を考慮する．
⑤ さび層無しの鋼材の降伏応力を 355MPa とする．

$$E=\frac{E_w\cdot t+2\cdot E_r\cdot d}{t+2\cdot d} \tag{1}$$

$$P_1=\frac{E_r\cdot d}{E(t+2\cdot d)}P=\frac{E_r\cdot d}{E_w\cdot t+2\cdot E_r\cdot d}P \tag{2}$$

$$P_2=\frac{E_w\cdot t}{E(t+2\cdot d)}P=\frac{E_w\cdot t}{E_w\cdot t+2\cdot E_r\cdot d}P \tag{3}$$

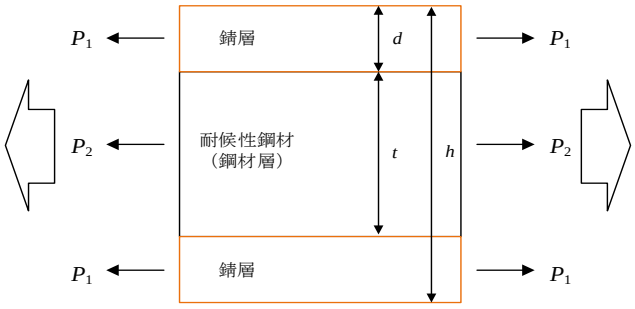

図-2　簡易モデル

さび層の弾性係数E_rをパラメータとした計算結果を**表-1** に示す．なお，ここに示す降伏応力σはさび層を含む耐候性鋼材全体での応力を指し，式(4)により算

Yusuke YOSHIMURA , Masahide MATSUMURA , Kunitomo SUGIURA , Gen HAYASHI
yoshimura.yusuke.37z@st.kyoto-u.ac.jp

出している．まず，E_rが大きくなると，さび層を含む耐候性鋼材全体の弾性係数 E，降伏応力σはともに大きくなることが分かる．次に，**図-1** に示したとおり，さび層を有すると，繰り返し回数 200 万回における応力振幅が約 1.18 倍向上したことから，さび層形成に伴う降伏応力の変化率に着目し，さび層の弾性係数を推定する．**表-1** から，降伏応力が約 1.18 倍となるときの，さび層の弾性係数は 270~280GPa であることがわかる．ここで，文献 2)によると，耐候性鋼材の安定さびの主成分であるヘマタイトは異方性を有するため，着目する方向によって異なるが，その弾性係数は約 237～269GPa であることが示されており，本計算結果と整合している．

この知見をもとに，さび層の弾性係数を E_r = 270GPa と仮定して，鋼材に発生する応力の低減率を検討する．式(3)より算出したP_2を板厚tで除した値を鋼材に発生する応力とし，鋼材の降伏応力で除した値を低減率と定めた．前述した簡易モデルを用いて解析を行った結果を**図-3** に示す．縦軸は低減率，横軸は形成されるさび厚を鋼材板厚で除した値を割合表示したものである．鋼材にさび層が形成されるほど，鋼材に発生する応力が低減されることがわかる．しかし，緻密さび層として性能を満たすさび厚は 0.2mm 未満から 0.4mm 未満 [3] とされており，応力低減効果が発揮されるのは**図-3** における横軸が 5~10% 内が限界であることが考えられる．

そのため，耐候性鋼材において，さび層が形成されると鋼材に発生する応力が減少するため，降伏時荷重が増加し，さび層を含めた耐候性鋼材全体の降伏応力などの機械的性質の向上が考えられる．

$$\sigma=(2\times\frac{P_1}{d}+\frac{P_2}{t})/3 \qquad (4)$$

4. まとめ

本研究では，耐候性鋼材の表面にさび層が形成された場合の機械的性質の変化および，さび層の機械的性質について，文献調査および簡易モデルにより検討した．その結果，さび層の弾性係数は E_r=270GPa と推定され，このとき，鋼材への作用応力は最大で 10%程度減少する．したがって，良好な緻密さび層が形成されると，さび層を含む耐候性鋼材全体の弾性係数 E，降伏応力σは向上すると考えられる．

今後，この解析結果の妥当性を検討するため，安定さびを生成させた耐候性鋼材の引張試験を行う予定である．

表-1 計算結果

Er (GPa)	E (GPa)	降伏応力 σ(MPa)	変化率
190	204.63	329.84	0.93
200	204.88	340.71	0.96
210	205.13	351.54	0.99
220	205.38	362.35	1.02
230	205.63	373.13	1.05
240	205.88	383.88	1.08
250	206.13	394.61	1.11
260	206.38	405.32	1.14
270	206.63	415.99	1.17
280	206.88	426.64	1.20
290	207.13	437.27	1.23

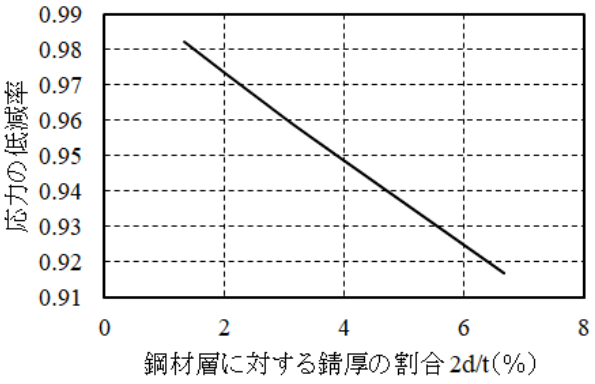

図-3 応力低減効果

参考文献

1) 西村昭・皆田理，長年の暴露発錆後の構造用鋼材の表面性状と疲労強度，材料，37 巻，415 号，pp.434-440，1988

2) 打越哲郎，強地場コロイドプロセスによる配向ヘマタイトの創製と異方特性評価，科学研究費補助金，基盤研究(C)報告書，無機材料・物性，2011-2013

3) 三沢俊平・山下正人・長野博夫，耐候性鋼の安定さび層，まてりあ，35 巻，7 号，pp.783-789，1996